

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-144953

(43)Date of publication of application : 29.05.1998

(51)Int.Cl.

H01L 31/12

H01L 27/15

(21)Application number : 08-292867

(71)Applicant : DENSO CORP

(22)Date of filing : 05.11.1996

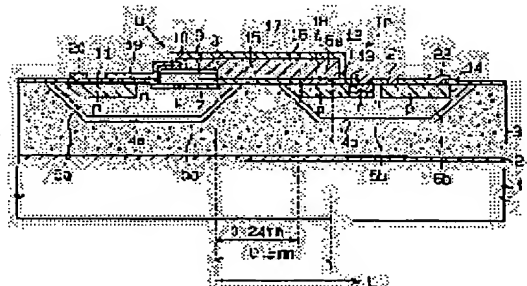
(72)Inventor : SUGAWARA RYOICHI
INUZUKA HAJIME

(54) MONOLITHIC PHOTOCOUPLER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To efficiently supply light that is propagated through an optical waveguide to a light-receiving element.

SOLUTION: A light-emitting diode D and a phototransistor Tr are formed at silicon islands 6a and 6b, respectively. An optical waveguide 16 is extended on a substrate so that it connects the light-emitting diode D and the phototransistor Tr, and both elements are connected optically. The optical waveguide 16 is made of a silicon nitride film. A light lead-in layer 18 is included between the light-receiving part of the phototransistor Tr and the optical waveguide 16, and a light lead-in layer 18 is made of GaAs layer and is made of a material with a refractive index higher than that of the optical waveguide 16. Propagated light is lead into the light lead-in layer 18 with a higher refractive index than the optical waveguide 16 and is received by the phototransistor Tr with high efficiency.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

This Page Blank (copy)

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

This Page Blank (uspto)

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-144953

(43)Date of publication of application : 29.05.1998

(51)Int.Cl.

H01L 31/12

H01L 27/15

(21)Application number : 08-292867

(71)Applicant : DENSO CORP

(22)Date of filing : 05.11.1996

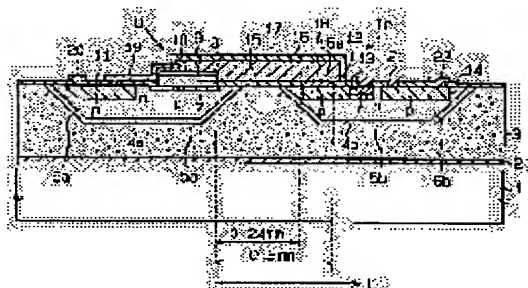
(72)Inventor : SUGAWARA RYOICHI
INUZUKA HAJIME

(54) MONOLITHIC PHOTOCOUPLER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To efficiently supply light that is propagated through an optical waveguide to a light-receiving element.

SOLUTION: A light-emitting diode D and a phototransistor Tr are formed at silicon islands 6a and 6b, respectively. An optical waveguide 16 is extended on a substrate so that it connects the light-emitting diode D and the phototransistor Tr, and both elements are connected optically. The optical waveguide 16 is made of a silicon nitride film. A light lead-in layer 18 is included between the light-receiving part of the phototransistor Tr and the optical waveguide 16, and a light lead-in layer 18 is made of GaAs layer and is made of a material with a refractive index higher than that of the optical waveguide 16. Propagated light is lead into the light lead-in layer 18 with a higher refractive index than the optical waveguide 16 and is received by the phototransistor Tr with high efficiency.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

This Page Blank (uspc)

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

This Page Blank (1 of 1)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-144953

(43) 公開日 平成10年(1998) 5月29日

(51) Int.Cl.⁹

H 0 1 L 31/12
27/15

識別記号

F I

H 0 1 L 31/12
27/15

B
C

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平8-292867

(22) 出願日 平成8年(1996)11月5日

(71) 出願人 000004260

株式会社デンソー

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地

(72) 発明者 菅原 良一

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会
社デンソー内

(72) 発明者 犬塚 肇

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会
社デンソー内

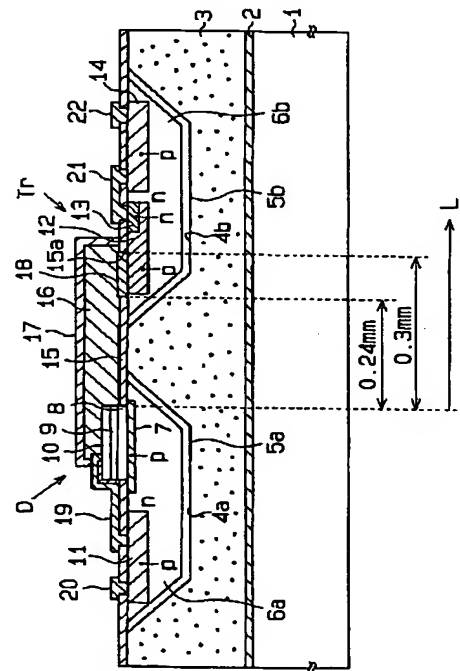
(74) 代理人 弁理士 恩田 博宣

(54) 【発明の名称】 モノリシックフォトカブラ

(57) 【要約】

【課題】 光導波路によって伝搬する光を受光素子に効率よく供給する。

【解決手段】 シリコン島6aには発光ダイオードDが、シリコン島6bにはフォトトランジスタTrが形成されている。基板上において光導波路16が発光ダイオードDとフォトトランジスタTrとを結ぶように延設され、両素子が光学的に結合されている。光導波路16は窒化シリコン膜よりなる。フォトトランジスタTrでの受光部と光導波路16との間に光引き込み層18が介在され、光引き込み層18はGaAs層よりなり、光導波路16よりも高屈折率の材料である。伝搬光が光導波路16よりも高屈折率の光引き込み層18に引き込まれ、フォトトランジスタTrに高効率にて受光される。



1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板に形成された発光素子と、
同じく前記基板に形成された受光素子と、
前記基板上において前記発光素子と受光素子とを結ぶよ
うに延設され、発光素子と受光素子とを光学的に結合す
る光導波路とを備えたモノリシックフォトカブラであつ
て、
前記受光素子での受光部と前記光導波路との間に、光導
波路よりも高屈折率の材料よりなる光引き込み層を設け
たことを特徴とするモノリシックフォトカブラ。

【請求項 2】 前記光引き込み層は、発光素子と同一材
料よりなる請求項 1 に記載のモノリシックフォトカブ
ラ。

【請求項 3】 基板に形成された発光素子と、
同じく前記基板に形成された受光素子と、
前記基板上において前記発光素子と受光素子とを結ぶよ
うに延設され、発光素子と受光素子とを光学的に結合す
る光導波路とを備えたモノリシックフォトカブラであつ
て、
前記受光素子での受光部と前記光導波路との間に、表面
に凹凸を有する光引き込み層を設けたことを特徴とする
モノリシックフォトカブラ。

【請求項 4】 前記光引き込み層の凹凸は、前記光導波
路のクラッド層の一部を食刻することにより形成したも
のである請求項 3 に記載のモノリシックフォトカブラ。

【請求項 5】 前記光引き込み層の凹凸は回折格子であ
る請求項 3 に記載のモノリシックフォトカブラ。

【請求項 6】 基板に形成された発光素子と、
同じく前記基板に形成された受光素子と、
前記基板上において前記発光素子と受光素子とを結ぶよ
うに延設され、発光素子と受光素子とを光学的に結合す
る光導波路とを備えたモノリシックフォトカブラであつ
て、
前記受光素子の受光部上の前記光導波路を、厚さが光伝
搬方向に対し徐々に薄くなるテーパ部としたことを特徴
とするモノリシックフォトカブラ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 この発明は、1つのチップ上
に発光素子と受光素子とを備えるモノリシックフォトカ
ブラに関するものである。

【0002】

【従来の技術】 特開平 7-312443 号公報に示され
ているように、モノリシックフォトカブラにおいては基
板に発光素子と受光素子とが形成されるとともに基板上
に光導波路が形成され、光導波路により発光素子と受光
素子とが光学的に結合している。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 ところが、受光素子が
光導波路による光伝搬方向に対して垂直に形成されるた

2

め受光効率を高めるには受光領域を光伝搬方向に長くす
る必要があり、素子の小型化の障害となっていた。

【0004】 そこで、この発明の目的は、光導波路によ
って伝搬する光を受光素子に効率よく供給することがで
きるモノリシックフォトカブラを提供することにある。

【0005】

【課題を解決するための手段】 請求項 1 に記載の発明に
よれば、発光素子の発する光は光導波路を通して受光素
子に向かって伝搬していき受光素子にて受光される。こ
の光伝搬に際し、受光素子での受光部に設けられた光引
き込み層において伝搬光が光導波路よりも高屈折率の光
引き込み層に引き込まれ、受光素子に高効率にて受光さ
せることができる。

【0006】 請求項 2 に記載の発明によれば、光引き込
み層を発光素子と同時に形成でき、製造が容易となる。
請求項 3 に記載の発明によれば、発光素子の発する光は
光導波路を通して受光素子に向かって伝搬していき受光
素子にて受光される。この光伝搬に際し、受光素子での
受光部に設けられた光引き込み層において伝搬光が表面
に凹凸を有する光引き込み層に引き込まれ、受光素子に
高効率にて受光させることができる。

【0007】 請求項 4 に記載の発明によれば、光導波路
のクラッド層の一部を食刻することにより光引き込み層
の凹凸が形成でき、製造が容易となる。請求項 6 に記載
の発明によれば、発光素子の発する光は光導波路を通し
て受光素子に向かって伝搬していき受光素子にて受光さ
れる。この光伝搬に際し、受光素子での受光部上に設け
られたテーパ部において厚さが光伝搬方向に対し徐々に
薄くなっているため伝搬光がカットオフ（遮断周波数）
に近づき導波条件が弱くなるため光導波路からの波動の
浸み出しが多くなり受光素子への伝搬光を増加させるこ
とができる。

【0008】

【発明の実施の形態】

（第 1 の実施の形態） 以下、この発明を具体化した第 1
の実施の形態を、図面に従って説明する。

【0009】 図 1 には本実施の形態におけるモノリシッ
クフォトカブラの断面図を示す。基材となるシリコン基
板 1 の上面には酸化シリコン膜 2 が形成されており、そ
の上には多結晶シリコン層 3 が形成されている。本実施
の形態では、シリコン基板 1 と多結晶シリコン層 3 とか
ら基板が構成されている。

【0010】 多結晶シリコン層 3 の上面側には凹部 4
a、4 b が形成され、この凹部 4 a、4 b の表面に絶縁
分離膜としての酸化シリコン膜 5 a、5 b が形成されて
いる。凹部 4 a 内には n 型の単結晶シリコン島 6 a が形
成されるとともに、凹部 4 b 内には n 型の単結晶シリ
コン島 6 b が形成されている。この単結晶シリコン島 6
a、6 b の n 型不純物濃度が 10^{16} cm^{-3} 程度となつて
いる。又、単結晶シリコン島 6 b が受光素子であるフォ

3

トランジスタTrのコレクタ領域になる。

【0011】単結晶シリコン島6aの表面部にはp型拡散領域7が形成されている。p型拡散領域7上には、バッファ用GaAs層8とn型GaAs層9とp型GaAs層10とが積層されている。バッファ用GaAs層8は厚さが2.7 μ mであり、n型GaAs層9とp型GaAs層10との合計の厚さは4 μ mである。

【0012】GaAs層8, 9, 10は単結晶シリコン島6aの上にMO-CVD法によるエピタキシャル成長にて形成されたものである。このようにして、酸化シリコン膜5aで囲まれた単結晶シリコン島6aに、バッファ用GaAs層8とn型GaAs層9とp型GaAs層10との積層体からなる発光素子としての発光ダイオードDが形成されている。

【0013】又、単結晶シリコン島6aにはp型拡散領域11が形成され、p型拡散領域11に発光側処理回路が形成されている。一方、単結晶シリコン島6bの表面部における所定領域にはp型ベース領域12が形成されるとともに、その内部における表面部にはn型エミッタ領域13が形成されている。そして、n型エミッタ領域13、p型ベース領域12、n型単結晶シリコン島6bにて、受光素子としてのn/p/n構造のフォトトランジスタTrが構成されている。

【0014】このように、酸化シリコン膜5bで囲まれた単結晶シリコン島6bに、フォトトランジスタTrが形成されている。又、単結晶シリコン島6bにはp型拡散領域14が形成され、p型拡散領域14に受光側処理回路が形成されている。

【0015】単結晶シリコン島6a, 6bの表面を含む多結晶シリコン層3の表面には、厚さ1 μ mの酸化シリコン膜15が形成されている。酸化シリコン膜15には単結晶シリコン島6bのベース領域12上において開口部15aが形成されている。

【0016】発光ダイオードDとフォトトランジスタTrとの間における酸化シリコン膜15の上には、厚さ4 μ mの窒化シリコン膜よりなる光導波路16が延設されている。光導波路16の上には厚さ1 μ mの酸化シリコン膜17が形成されている。

【0017】又、単結晶シリコン島6bにおける酸化シリコン膜15の開口部15aには、厚さ2.7 μ mのGaAs層よりなる光引き込み層18が形成され、この上に光導波路16が位置している。厚さ2.7 μ mのGaAs層よりなる光引き込み層18は発光ダイオードDの発する光を透過可能である。光導波路16はクラッド層としての酸化シリコン膜15, 17に挟まれており、この光導波路16によりフォトトランジスタTrが発光ダイオードDと光学的に結合されている。

【0018】ここで、島6a, 6bの構成材料であるシリコンの屈折率は「3.65」、酸化シリコン膜(クラッド層)15, 17の屈折率は「1.46」、発光ダイ

4

オードDおよび光引き込み層18の構成材料であるGaAsの屈折率は「3.55」、光導波路16の構成材料である窒化シリコン膜の屈折率は「2.0」である。つまり、フォトトランジスタTrの受光部においてはシリコン島6bと光引き込み層18と光導波路16との積層体構造をなし、その各材料の屈折率の大小関係は、光導波路16の屈折率<光引き込み層18の屈折率<島6bの屈折率となっている。

【0019】又、単結晶シリコン島6aでの酸化シリコン膜15の上にはアルミ配線19が形成され、アルミ配線19によりp型GaAs層10とp型拡散領域11とが電氣的に接続されている。又、単結晶シリコン島6aでの酸化シリコン膜15の上にはアルミ配線20が形成され、アルミ配線20がp型拡散領域11と電氣的に接続されるとともにこのアルミ配線20が単結晶シリコン島6a内において延設されている。

【0020】又、単結晶シリコン島6bでの酸化シリコン膜15の上にはアルミ配線21が形成され、アルミ配線21によりn型エミッタ領域13とp型拡散領域14とが電氣的に接続されている。又、単結晶シリコン島6bでの酸化シリコン膜15の上にはアルミ配線22が形成され、アルミ配線22がp型拡散領域14と電氣的に接続されるとともにこのアルミ配線22が単結晶シリコン島6b内において延設されている。

【0021】次に、このように構成したモノリシックフォトカプラの作用を説明する。p型拡散領域11内の処理回路にて生成された信号により発光ダイオードDのアノード・カソード間に電圧を加えると、正孔および電子が注入され、n型GaAs層9とp型GaAs層10の接合部で再結合して光を発する。発光ダイオードDの発する光は光導波路16においてフォトトランジスタTrに向かって伝搬していく。そして、フォトトランジスタTrでの受光部において、光導波路16よりも高屈折率の光引き込み層18にて引き込まれ、フォトトランジスタTrにおけるp型ベース領域12に至る。すると、フォトトランジスタTrにおけるp型ベース領域12とn型コレクタ領域(n型単結晶シリコン島6b)でのpn接合で発生した光電流は増幅されてコレクタ、エミッタ電流として取り出される。取り出された電流はp型拡散領域14内の処理回路にて信号処理される。

【0022】図2には、伝搬距離Lに対する伝搬光強度の測定結果を示す。横軸の伝搬距離Lは図1の発光ダイオードDの端からの光導波路16による光伝搬方向での距離を指し、縦軸にはその光強度を示す。図2において、光引き込み層(GaAs層)18を備えた本実施の形態と、光引き込み層(GaAs層)18の無い比較例を併せて示す。

【0023】この図2において光引き込み層(GaAs層)18の光伝搬方向での最も遠い位置L=0.3mm

5

においては、実施の形態では光強度が 0.4 であり、比較例では光強度が 0.28 であった。又、図 2 において光引き込み層 (GaAs 層) 18 の光伝搬方向での最も近い位置 $L = 0.24 \text{ mm}$ においては、実施の形態と比較例とは同じ光強度である。よって、光引き込み層 18 により伝搬光結合強度は 30% ($= (0.4 - 0.28) / 0.4$) 向上する。

【0024】次に、このモノリシックフォトカブラの製造工程の概略を説明する。まず、図 3 に示すように、シリコン基板 23 を用意し、シリコン基板 23 の表面における所定領域にウェットまたはドライエッチング法にて深さ $20 \sim 40 \mu\text{m}$ の溝 (トレンチ) 24 を形成する。その後、図 4 に示すように、シリコン基板 23 の表面に酸化シリコン膜 25 を形成する。

【0025】引き続き、図 5 に示すように、酸化シリコン膜 25 の上に化学気相成膜法により厚さ $80 \sim 100 \mu\text{m}$ の多結晶シリコン層 3 を成膜する (成膜温度; 600°C)。さらに、多結晶シリコン層 3 の表面を適当な厚さまで研磨し、鏡面にする。

【0026】そして、図 6 に示すように、熱酸化によって多結晶シリコン層 3 の表面に厚さ $0.1 \mu\text{m}$ の酸化シリコン膜 2 を形成する。さらに、表面が鏡面研磨されたシリコン基板 1 を用意し、そのシリコン基板 1 の鏡面と酸化シリコン膜 2 とを接合し、熱処理を行ない接合を強化する。

【0027】次に、図 7 に示すように、シリコン基板 23 を裏面から溝 24 の先端 (底面) が現われるまで研磨して鏡面化する。その結果、絶縁分離された各島が区画形成される。

【0028】その後、図 8 に示すように、クラッド層となる酸化シリコン膜 15 を堆積するとともに酸化シリコン膜 15 を所望の形状にエッチングし、この膜 15 をマスクとしてイオン注入を行い各島に素子を形成する。さらに、図 9 に示すように、バッファ用 GaAs 層 8 と n 型 GaAs 層 9 と p 型 GaAs 層 10 とを順に積層する。バッファ用 GaAs 層 8 の形成時に光引き込み層 (GaAs 層) 18 も同時に形成する。

【0029】さらに、図 1 に示すように、窒化シリコン膜 16 よりなる光導波路、酸化シリコン膜 17、アルミ薄膜 19 \sim 22 を形成する。このようにして、モノリシックフォトカブラが製造される。

【0030】このように本実施の形態においては、下記の特徴を有している。

(イ) フォトトランジスタ Tr での受光部と光導波路 16 との間に、光導波路 16 よりも高屈折率の材料よりなる光引き込み層 18 を介在したので、伝搬光が光導波路 16 よりも高屈折率の光引き込み層 18 に引き込まれ、フォトトランジスタ Tr に高効率にて受光させることができる。

(ロ) 光引き込み層 18 を発光ダイオード D と同一材料

6

(GaAs) としたので、光引き込み層 18 を発光ダイオード D と同時に形成でき、製造が容易となる。つまり、発光ダイオード D と光引き込み層 18 とを同時に形成するため製造工程の増加を招くことなく高効率な光結合構造が実現できる。

(第 2 の実施の形態) 次に、この発明の第 2 の実施の形態を、第 1 の実施の形態との相違点を中心に説明する。

【0031】図 10 には、本実施形態のモノリシックフォトカブラの断面図を示す。フォトトランジスタ Tr の受光部においてシリコン島 6b の表面には光引き込み層 26 が形成されている。光引き込み層 26 はその表面が凹凸 27 が形成されている。この凹凸 27 は回折格子となっており、酸化シリコン膜 (クラッド層) 15 の一部をフォトリソグラフィにより食刻することにより形成したものである。

【0032】ここで、回折格子は円弧状をなすグレーティングカブラ、溝の間隔が一定でないチャープグレーティング等が利用できる。そして、光導波路 16 を伝搬してきた光は光引き込み層 26 の凹凸 27 (回折格子) において回折されフォトトランジスタ Tr に引き込まれ、同トランジスタ Tr に受光される。その結果、フォトトランジスタ Tr へ結合する伝搬光が増加し、発光ダイオード D とフォトトランジスタ Tr とを効率よく結合させることができる。

【0033】このように本実施の形態においては、下記の特徴を有している。

(イ) フォトトランジスタ Tr での受光部と光導波路 16 との間に、表面に凹凸 27 を有する光引き込み層 26 を設けたので、伝搬光が光導波路 16 から光引き込み層 26 に引き込まれ、フォトトランジスタ Tr に高効率にて受光させることができる。

(ロ) 光引き込み層 26 の凹凸 (回折格子) 27 を光導波路 16 のクラッド層 15 の一部を食刻することにより形成しているので、製造が容易である。

【0034】尚、光引き込み層 26 の凹凸 27 として回折格子の代わりに、磨りガラスの表面のような散乱面としてもよい。つまり、シリコン島 6b の表面に形成した酸化シリコン膜 15 の表面を化学薬品により粗面化処理を施し、この凹凸面で伝搬光を散乱させてもよい。

(第 3 の実施の形態) 次に、この発明の第 3 の実施の形態を、第 1 の実施の形態との相違点を中心に説明する。

【0035】図 11 には、本実施形態のモノリシックフォトカブラの断面図を示す。フォトトランジスタ Tr の受光部上における光導波路 16 は光伝搬方向に徐々に膜厚が薄くなるテーパ部 28 となっている。より詳しくは、テーパ角 θ にて直線的に膜厚が薄くなっている。最も膜厚が薄いテーパ部 28 の先端は、カットオフ (遮断周波数) 条件を満たしている。

【0036】そして、光導波路 16 を伝搬してきた光がテーパ部 28 において徐々にカットオフ (遮断周波数)

7

に近づき導波条件が弱くなり、そのため光導波路16からの波動の浸み出しが多くなる。その結果、フォトトランジスタTrへ結合する伝搬光が増加し、発光ダイオードDとフォトトランジスタTrとを効率よく結合させることができる。

【0037】このように本実施の形態においては、下記の特徴を有している。

(イ) フォトトランジスタTrの受光部上の光導波路16を、厚さが光伝搬方向に対し徐々に薄くなるテーパ部28としたので、伝搬光がテーパ部28においてカットオフ(遮断周波数)に近づき導波条件が弱くなるため光導波路16からの波動の浸み出しが多くなりフォトトランジスタTrへの伝搬光を増加させることができる。

【0038】尚、本実施形態の応用例として、テーパ部28の上面に光反射膜を形成してもよい。

(第4の実施の形態) 次に、この発明の第4の実施の形態を、第1の実施の形態との相違点を中心に説明する。

【0039】図12には、本実施形態のモノリシックフォトカブラの断面図を示す。受光素子としてのフォトトランジスタを2つ備えており、2つのフォトトランジスタTr1、Tr2は光導波路16の延設方向(光伝搬方向)に直列に配置されている。フォトトランジスタTr1、Tr2はその出力を均等にすべく光引き込み層(GaAs層)18a、18bの厚さt1、t2が上流側のフォトトランジスタTr1に比べ下流側のフォトトランジスタTr2の方が薄くなっている($t_1 < t_2$)。

【0040】そして、発光ダイオードDの発する光は光導波路16を通してフォトトランジスタTr1、Tr2に向かって伝搬していきフォトトランジスタTr1、Tr2にて受光される。この光伝搬に際し、伝搬光がフォトトランジスタTr1での受光部に設けられた光引き込み層18aにおいて光導波路16よりも高屈折率の光引き込み層18aに引き込まれ、又、フォトトランジスタTr2での受光部に設けられた光引き込み層18bにおいて光導波路16よりも高屈折率の光引き込み層18bに引き込まれる。このとき、 $t_1 < t_2$ なので、フォトトランジスタTr1とフォトトランジスタTr2での受光量は等しくトランジスタ出力が均等になる。

【0041】本実施形態の応用例として、図12における光引き込み層18a、18bの代わりに、図10に示した光引き込み層26を配置してもよい。このとき、フォトトランジスタTr1に対応する光引き込み層26とフォトトランジスタTr2に対応する光引き込み層26

8

とは、光学特性の異なる凹凸27を設け、受光量を等しくしてトランジスタ出力の均等化を図る。

【0042】あるいは、図12における光引き込み層18a、18bの代わりに、図11に示したテーパ部28を設けてもよい。このとき、図13に示すように、光導波路16において上流側のフォトトランジスタTr1に対してはテーパ角 θ_1 とし、下流側のフォトトランジスタTr2に対してはテーパ角 θ_2 ($> \theta_1$) として、受光量を等しくしてトランジスタ出力の均等化を図る。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施の形態におけるモノリシックフォトカブラの断面図。

【図2】伝搬距離Lに対する伝搬光強度の測定結果を示す図。

【図3】モノリシックフォトカブラの製造工程を示す断面図。

【図4】モノリシックフォトカブラの製造工程を示す断面図。

【図5】モノリシックフォトカブラの製造工程を示す断面図。

【図6】モノリシックフォトカブラの製造工程を示す断面図。

【図7】モノリシックフォトカブラの製造工程を示す断面図。

【図8】モノリシックフォトカブラの製造工程を示す断面図。

【図9】モノリシックフォトカブラの製造工程を示す断面図。

【図10】第2の実施の形態におけるモノリシックフォトカブラの断面図。

【図11】第3の実施の形態におけるモノリシックフォトカブラの断面図。

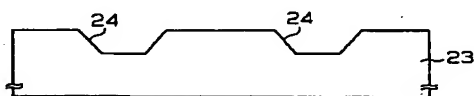
【図12】第4の実施の形態におけるモノリシックフォトカブラの断面図。

【図13】第4の実施の形態の応用例におけるモノリシックフォトカブラの断面図。

【符号の説明】

1…基板を構成するシリコン基板、3…基板を構成する多結晶シリコン層、16…光導波路、18…光引き込み層、26…光引き込み層、27…凹凸、28…テーパ部、D…発光素子としての発光ダイオード、Tr…受光素子としてのフォトトランジスタ

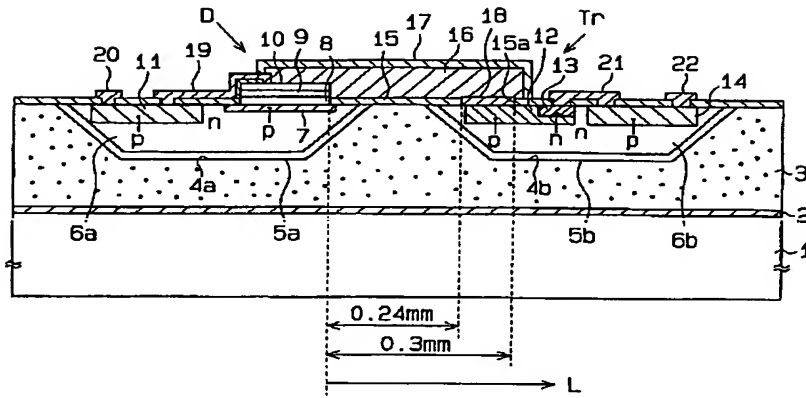
【図3】



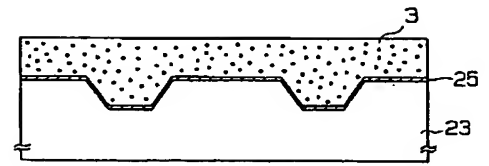
【図4】



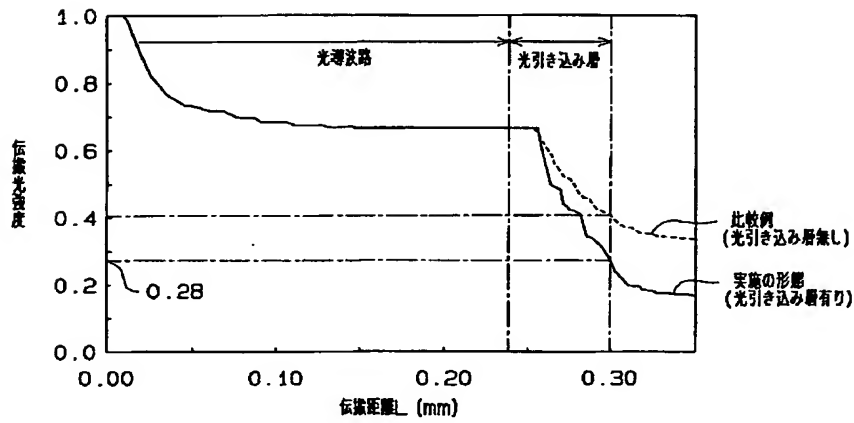
【図1】



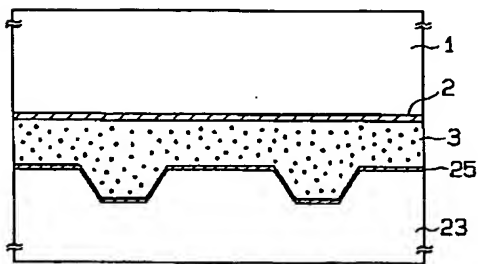
【図5】



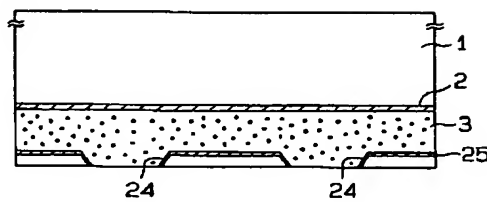
【図2】



【図6】



【図7】



[illegible]

